

## Method and apparatus for providing related images over time of a portion of the anatomy using fiducial implants

Publication number: DE3838011

Publication date: 1989-07-20

Inventor: ALLEN GEORGE S (US)

Applicant: ALLEN GEORGE S (US)

Classification:

- international: A61B6/12; A61B19/00; A61N5/10; A61B6/12; A61B19/00; A61N5/10; (IPC1-7): A61B19/00

- european: A61B6/12; A61B19/00B

Application number: DE19883838011 19881109

Priority number(s): US19870119353 19871110

Also published as:

US 4991579 (A1)  
G B2212371 (A)  
F R2627075 (A1)  
E S2013810 (A6)  
B R8805881 (A)

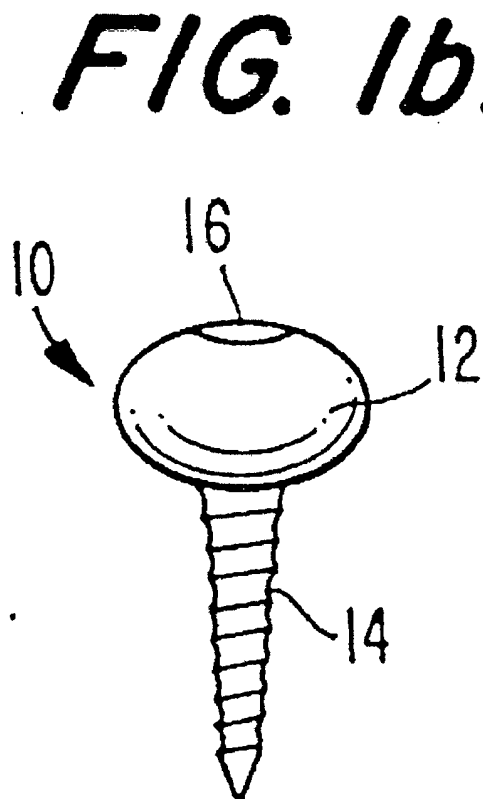
more >>

Report a data error here

Abstract not available for DE3838011

Abstract of corresponding document: US4991579

The present invention pertains to a fiducial implant for the human body that is detectable by an imaging system. The invention is comprised of a first portion and a second portion. The first portion is configured to be detected by an imaging system when placed beneath the skin. The second portion is configured for fixed attachment to a bone beneath the skin without penetrating entirely through the bone and without fracturing the bone. The first portion is of detectable size and comprised of a material for detection by an imaging system, and sufficiently small to avoid the distortion of the skin when placed at an interface between the skin and the bone. The first portion also has at least a portion which is spherical defines a surface for cooperating with a tool for securing the second portion to the bone. Additionally, the placement of three fiducial implants into a portion of anatomy of the human body allows for the recreation of a particular image slice of the portion of the anatomy taken by an imaging system with respect to a first time period, at subsequent imaging sessions and also with different scan modalities. This provides a doctor with the ability to accurately follow the progress of the portion of the anatomy of interest. Moreover, the existence of three fiducial implants allows a target to be identified within the portion of anatomy relative to an external coordinate system. The portion of anatomy with the target may then be operated on, for instance, robotically, or precisely irradiated.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3838011 A1**

⑤1 Int. Cl. 4:  
**A61 B 19/00**  
// A61B 5/05,6/03

②1 Aktenzeichen: P 38 38 011.0  
②2 Anmeldetag: 9. 11. 88  
④3 Offenlegungstag: 20. 7. 89

Behördeneigentum

DE 3838011 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
10.11.87 US 119353

⑦1 Anmelder:  
Allen, George S., Nashville, Tenn., US

⑦4 Vertreter:  
Wuesthoff, F., Dr.-Ing.; Frhr. von Pechmann, E.,  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Behrens, D., Dr.-Ing.; Goetz,  
R., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.; Hellfeld von, A.,  
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

⑥4 Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Bildern der Anatomie

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Bezugsimplantat für den menschlichen Körper, welches durch ein Abbildungssystem nachweisbar ist. Die Erfindung umfaßt einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt. Der erste Abschnitt ist so ausgebildet, daß er durch ein Abbildungssystem nachgewiesen wird, wenn er unterhalb der Haut angeordnet ist. Der zweite Abschnitt ist zur festen Halterung an einem Knochen unterhalb der Haut ausgebildet, ohne vollständig den Knochen zu durchdringen und ohne zu einem Knochenbruch zu führen. Der erste Abschnitt ist genügend groß und aus einem solchen Material ausgebildet, daß dieses durch ein Abbildungssystem nachgewiesen wird, und genügend klein, um die Störung der Haut zu vermeiden, wenn er an einer Grenzfläche zwischen der Haut und dem Knochen angebracht ist. Der erste Abschnitt weist weiterhin zumindest einen Abschnitt auf, der kugelförmig ausgebildet ist und eine Oberfläche zum Zusammenwirken mit einem Werkzeug zur Festlegung des zweiten Abschnitts an dem Knochen festlegt. Darüber hinaus gestattet die Anordnung dreier Bezugsimplantate in einem Abschnitt der Anatomie des menschlichen Körpers die Wiederherstellung einer bestimmten Bildscheibe des Abschnitts der Anatomie, die durch ein Abbildungssystem in bezug auf einen ersten Zeitraum aufgenommen wurde, sowie in darauffolgenden Abbildungssitzungen und ebenfalls mit unterschiedlichen Abtastarten. Dies verleiht einem Arzt die Fähigkeit, auf genaue Weise den Fortschritt des...

DE 3838011 A1

Diagnostische Verfahren, die einem Kliniker bei seiner Berufsausübung gestatten, sehr genaue Ansichten des anatomischen Aufbaus eines menschlichen Körpers zu erhalten, haben sich sowohl für den Patienten als auch für den Arzt als hilfreich erwiesen. Abbildungssysteme, die Querschnittsansichten zur Verfügung stellen, beispielsweise Computertomographie-(CT-)Röntgenabbildungsgeräte oder kernmagnetische Resonanzgeräte (NMR) haben die Möglichkeit zur Verfügung gestellt, die visuelle Darstellung des anatomischen Aufbaus des menschlichen Körpers ohne eine Operation oder andere invasive Verfahren zur Verfügung zu stellen. Der Patient kann Abtastverfahren derartiger Abbildungssysteme ausgesetzt werden, und der Aufbau der Anatomie des Patienten kann in einer Form reproduziert werden, die die Beurteilung durch einen ausgebildeten Arzt gestattet.

Ein in derartigen Verfahren genügend geschulter Arzt kann die Bilder der Anatomie des Patienten bewerten und feststellen, ob Abnormitäten vorliegen. Eine Abnormalität in Form eines Tumors erscheint auf dem Bild als eine Form, die einen unterscheidbaren Kontrast zu dem umgebenden Bereich aufweist. Der Kontrastunterschied entsteht aufgrund des Tumors, der unterschiedliche Abbildungseigenschaften aufweist als das umgebende Körpergewebe. Darüber hinaus taucht die kontrastierende Form, die den Tumor darstellt, an einem Ort auf dem Bild auf, an dem eine derartige Form normalerweise in bezug auf ein entsprechendes Bild eines gesunden Menschen nicht auftauchen würde.

Nachdem ein Tumor identifiziert wurde, werden verschiedene Behandlungsmethoden eingesetzt, um den Tumor zu entfernen oder zu zerstören, einschließlich Chemotherapie, Bestrahlungstherapie und Operation. Wenn die Chemotherapie ausgewählt wird, so werden Medikamente in den Körper des Patienten eingegeben, um den Tumor zu zerstören. Im Verlaufe der Behandlung werden Abbildungsgeräte üblicherweise verwendet, um den Verlauf der Behandlung dadurch zu verfolgen, daß der Patient periodisch abgetastet wird, und die erhaltenen Abbildungen im Verlauf der Behandlung verglichen werden, um irgendwelche Änderungen der Tumoranordnungen festzustellen.

Bei der Bestrahlungstherapie werden die von dem Abbildungsgerät erzeugten Bilder des Tumors durch einen Radiologen verwendet, um das Bestrahlungsgerät einzustellen und die Strahlung allein auf den Tumor zu richten, während nachteilige Wirkungen auf gesundes umgebendes Gewebe minimalesiert oder ausgeschaltet werden. Im Verlauf der Bestrahlungsbehandlung wird ebenfalls das Abbildungssystem verwendet, um den Fortschritt des Patienten auf dieselbe Weise wie voranstehend in bezug auf die Chemotherapie geschildert zu verfolgen.

Wenn eine Operation zur Entfernung eines Tumors eingesetzt wird, so können die Bilder des Tumors im Patienten den Chirurgen während der Operation führen. Durch Beurteilung der Bilder vor der Operation kann der Chirurg die beste Vorgehensweise zum Erreichen und Entfernen des Tumors festlegen. Nach Durchführung der Operation wird eine weitere Abtastung vorgenommen, um den Erfolg der Operation und den weiteren Fortschritt der Heilung des Patienten zu beurteilen.

Ein bei den voranstehend beschriebenen Abtastverfahren auftretendes Problem ist die Unfähigkeit, den

Querschnitt desselben anatomischen Bereiches auszuwählen und genau zu vergleichen bei Bildern, die durch Abbildungsgeräte zu unterschiedlichen Zeiten erhalten wurden, oder bei Bildern, die im wesentlichen zur selben Zeit unter Verwendung unterschiedlicher Abbildungsbedingungen erhalten wurden, beispielsweise durch CT und MRI. Die Ungenauigkeit des Bildvergleichs wird deutlicher anhand einer Erläuterung der Abtastverfahren und der Art der Erzeugung der Bilder durch die Abbildungssysteme innerhalb einer Querschnitts-"Scheibe" der Anatomie des Patienten. Eine Scheibe stellt Elementarvolumina innerhalb des Querschnitts der Anatomie des Patienten dar, die einem Bestrahlungsstrahl oder einem Magnetfeld ausgesetzt oder hierdurch angeregt werden, und die Information wird auf einem Film oder einem anderen greifbaren Medium aufgezeichnet. Da die Bilder von Scheiben erzeugt werden, die durch die relative Lage des Patienten in bezug auf das Abbildungsgerät festgelegt werden, führt eine Änderung der Orientierung des Patienten dazu, daß unterschiedliche Elementarvolumina in die Scheibe eingefügt werden. Wenn daher für Vergleichszwecke zwei Sätze annähernd derselben anatomischen Masse verwendet werden, die zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen wurden, geben diese keine vergleichbare Information wieder, die auf präzise Weise eingesetzt werden kann, um die Änderungen festzustellen, die zwischen den beiden Bildern in den Sätzen aufgetreten sind, da es nicht bekannt ist, in welchem Maße die beiden von den jeweiligen Sätzen ausgewählten Bilder gleiche Ansichten teilen.

Die nachteiligen Auswirkungen auf die medizinische Praxis bei derartigen Fehlern werden durch diagnostische Verfahren verdeutlicht, die von dem Operateur oder anderen Personen bei der Diagnose eines Tumors eines Patienten verwendet werden. Wenn ein Patient einen Tumor hat, können dessen Abmessungsdichte und dessen Ort mit der Hilfe von durch ein Abtastsystem erzeugten Bildern festgestellt werden. Damit ein Kliniker einen Vorschlag für die Behandlung des Patienten machen kann, sind zwei Abtastuntersuchungen erforderlich. Mit dem Patienten wird eine erste Abtastung unternommen, die eine Anzahl von Scheiben durch den Abschnitt der Anatomie unternimmt, beispielsweise des Gehirns, der untersucht werden soll. Während der Abtastung wird der Patient in bezug auf das Abbildungsgerät in einer im wesentlichen festgehaltenen Lage gehalten. Jede Scheibe einer bestimmten Abtastung wird in einem vorher festlegbaren Abstand zur vorherigen Scheibe und parallel hierzu gehalten. Unter Verwendung der Bilder der Scheiben kann der Arzt den Tumor beurteilen. Wenn der Arzt jedoch Änderungen der Anordnung des Tumors über einen gegebenen Zeitraum beurteilen möchte, muß eine zweite oder Nachfolgeabtastung unternommen werden.

Der Abtastvorgang wird wiederholt, aber da sich der Patient in einer Position befinden kann, die von der bei der ursprünglichen Abtastung abweicht, behindert dies einen Vergleich der Abtastungen. In der Nachfolgeuntersuchung erhaltene Scheiben können unabsichtlich im Vergleich zu den Originalscheiben in einem Winkel erhalten werden. Daher kann das erzeugte Bild ein größeres Volumen zeigen als das Volumen, das ursprünglich gezeigt wurde. Demzufolge kann der Chirurg einen unrichtigen Eindruck von der Größe des Tumors bekommen, wenn er Abtastungen vergleicht, die zu unterschiedlichen Zeiträumen aufgenommen wurden. Daher können scheibenweise Vergleiche nicht in zufriedenstel-

lender Weise durchgeführt werden.

In ähnlicher Weise ist es für bestimmte chirurgische Verfahren wünschenswert, genaue und verlässliche periodische Abtastungen identischer Segmente des Tumors innerhalb des Cranium-Hohlraums zu erhalten. Wenn die Abtastungen vor und nach der Operation ungenau sind, kann es geschehen, daß der Arzt nicht das korrekte Bild des Ergebnisses der Operation erhält. Dieselben Ungenauigkeiten treten bei anderen Behandlungen auf, beispielsweise wie voranstehend beschrieben bei der Chemotherapie.

Zusätzlich gibt es in bezug auf Abbildungssysteme und die essentielle Bedeutung, die diese bei operativen und anderen Tumorbehandlungsverfahren einnehmen, eine Schwierigkeit bei momentan existierenden Verfahren, die eine Bestimmung eines gewünschten Orts innerhalb des Körpers zu einem gegebenen Zeitpunkt gestatten. Beispielsweise beschreibt die US-PS 45 83 538 (ONIK et al) ein Lokalisierungsgerät, das auf die Haut eines Patienten aufgebracht wird und in einer Scheibe einer CT-Abtastung identifiziert werden kann. Von einer Position auf dem Gerät wird ein Referenzpunkt ausgewählt, der exakt einem Punkt auf der CT-Abtastung entspricht. Messungen des Lokalisierungsgeräts auf der CT-Abtastung werden dann mit dem Gerät auf dem Patienten korreliert.

Es wurden externe Geräte eingesetzt bei Versuchen, einige dieser Probleme in bezug auf die Genauigkeit zu lösen, beispielsweise das in der US-PS 43 41 220 (Perry) beschriebene Gerät, nämlich ein Rahmen, der über den Schädel eines Patienten paßt. Der Rahmen ist mit drei Platten versehen, von denen jede mehrere Schlitzte auf drei oder vier Seiten festlegt. Die Schlitzte weisen unterschiedliche Länge auf und sind in bezug auf ihre Länge sequentiell geordnet. Auf dem Rahmen festgelegte und aufgefundene Rahmenkoordinaten entsprechen den unterschiedlichen Höhen der Schlitzte. Wenn durch ein Abbildungsgerät Scheiben des Schädels und des Gehirns aufgenommen werden, so schneidet die durch die Scheibe gebildete Ebene die drei Platten. Die Anzahl voller Schlitzte in der Scheibe wird in bezug auf jede Platte gezählt, um die Koordinaten eines Zielorts des Gehirns zu bestimmen. Daher muß nur eine CT-Abtastung durchgeführt werden, um die Koordinaten des Ziels festzulegen.

Andere Versuche wurden unter Verwendung von Kathedern unternommen, die in den Körper eingeführt wurden. Beispielsweise beschreibt die US-PS 45 72 198 (Codington) einen Katheder mit einer Spulenwicklung in seiner Spitze, um das Magnetfeld anzuregen oder zu schwächen. Das schwache Magnetfeld kann durch ein NMR-Gerät festgestellt werden, wodurch der Ort der Kathederspitze in bezug auf das NMR-Gerät bestimmt werden kann.

Die Erfindung der Anmelderin überwindet zahlreiche der voranstehend in bezug auf bislang verwendete Abbildungsgeräte beschriebenen Schwierigkeiten. Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung, die sicherstellen, daß zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführte Abtastungen Bilder erzeugen, die im wesentlichen gleich den Bildern vorheriger Abtastungen sind, selbst wenn sie von unterschiedlichen Bildbedingungen zu unterschiedlichen Zeiten herrühren. Dies stellt sicher, daß eine genauere Zuordnung irgendwelcher anatomischer Änderungen erhalten wird. Im Ergebnis gibt dies einem Arzt eine größere Sicherheit in bezug auf die Größe, den Ort und die Dichte des Tumors, oder eines Teils des Tumors, der sich in dem Cranium-Hohlraum

befindet.

Diese Fähigkeit vergrößert den Einsatz operativer Verfahren zur Entfernung oder sonstigen Beseitigung des Tumors, insbesondere durch derartige nichtinvasive Verfahren wie Lasertechnologie. Durch Bereitstellung der Fähigkeit, den Ort und die Größe des Tumors genau festzulegen, können Laserstrahlen direkt auf den Tumor fokussiert werden. Intermittierend können als Teil chirurgischer Verfahren Abtastungen durchgeführt werden, um zu bestimmen, ob sich infolge der Operation der Tumor bewegt oder wesentlich seine Größe geändert hat. Infolge der Genauigkeit der durch die vorliegende Erfindung bereitgestellten Abbildungsverfahren kann der Arzt sicher sein, daß die Menge während der Operation zerstörten gesunden Gewebes minimalisiert wird.

Ein bei der Erfindung eingesetztes Verfahren verwendet Vergleichsimplantate oder Implantate, um eine Ebene festzulegen, die mit dem Abbildungsgerät, einem anderen Computer, und insbesondere den Datenverarbeitungsfähigkeiten des Abbildungsgeräts zusammenarbeitet, um sicherzustellen, daß folgende Abtastungen zu Scheiben führen, die im wesentlichen parallel zu den während der anfänglichen Abtastung aufgenommenen Scheiben sind. Die Bezugsimplantate werden unter die Haut in die Calvaria eingepflanzt und sind voneinander genügend weit beabstandet, um eine Ebene festzulegen. Der Patient, dem diese Implantate eingepflanzt wurden, wird auf übliche Weise in das Abtastgerät gesetzt und abgetastet, um die Bilder aufeinanderfolgender paralleler Scheiben einer gegebenen Dicke entlang eines vorher festlegbaren Weges durch den Cranium-Hohlraum bereitzustellen.

Während die Abtastungen aufgenommen werden, sind eine oder mehrere Scheiben erforderlich, um einen Teil oder das gesamte Bezugsimplantat aufzunehmen. Die Rechneigenschaften des Abbildungsgeräts oder eines anderen Computers berücksichtigen die räumliche Beziehung zwischen jeder ausgewählten Ebene einer Scheibe und der durch die Bezugsimplantate festgelegten Ebene. Infolge dieser Fähigkeit können Bilder, die in aufeinanderfolgenden Abtastungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten bei unterschiedlichen Winkeln genommen wurden, rekonstruiert werden, damit sie im wesentlichen gleich den ursprünglich aufgenommenen Scheiben werden.

Bezugsimplantate für diesen Zweck sind auf spezielle Weise ausgebildet und aus einem Material hergestellt, das ihre Implantation in den Schädel und die Fähigkeit gestattet, durch Abtastgeräte nachgewiesen zu werden. Das hier beschriebene Bezugsimplantat ist so ausgebildet, daß sichergestellt ist, daß es während der Implantation keine nachteiligen Wirkungen auf den Schädel ausübt, etwa eine Rißbildung, oder sich bis in den Cranium-Hohlraum durch erstreckt. Auch ist es nicht soweit zwischen dem Schädel und der Haut freigelegt, daß es irgendwelche äußeren Merkmale der Anatomie stört. Weiterhin ist das Bezugsimplantat zumindest auf einem Abschnitt des Schädels an der Grenzfläche der Haut und des Schädelknochens angeordnet, um seine Abbildung durch das Abbildungsgerät zu erleichtern. Zumindest ein Abschnitt des Implantats weist einen symmetrischen Querschnitt auf, so daß Scheiben, die beispielsweise von dem Cranium-Hohlraum aufgenommen wurden, verwendet werden können, um den Schwerpunkt des Implantats zu lokalisieren. Dies sichert die Genauigkeit bei der Verwendung des Implantatbildes als Referenzpunkt, um folgende Scheiben der Überprüfungsuntersuchung in die richtige Lage und Orientierung zu

transformieren.

Voranstehend wurde eine Beschreibung bestimmter Mängel des Stands der Technik und der Vorteile der Erfindung gegeben. Andere Vorteile ergeben sich aus der folgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform.

Ein vollständiges Verständnis der vorliegenden Erfindung und deren zahlreichen Vorteilen ergibt sich auf einfache Weise, wenn sich unter Bezug auf die nachfolgende detaillierte Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren ein besseres Verständnis ergibt.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Seiten- und Aufsicht von Bezugsimplantaten;

Fig. 2 eine Seiten- und Aufsicht eines bevorzugten Positionierungsschemas für Bezugsimplantate in den Schädel;

Fig. 3 eine versetzte Ansicht zweier Koordinatensysteme, die in bezug aufeinander verschoben wurden;

Fig. 4 eine verschobene Ansicht zweier Koordinatensysteme, die in bezug aufeinander gedreht wurden;

Fig. 5 und Fig. 5a, 5b und 5c verschobene Ansichten zweier Koordinatensysteme, die gegeneinander verschoben und gedreht wurden;

Fig. 6 ein Flußdiagramm zur Erläuterung der Bestimmung desselben Punktes *P* zu zwei unterschiedlichen Zeiten in einem internen, auf den Körper bezogenen Koordinatensystem;

Fig. 7 eine Seitenansicht einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 8 ein Flußdiagramm bezüglich der Bestimmung des Ortes eines Punktes *P* in einem internen Koordinatensystem in bezug auf ein externes Koordinatensystem.

In Fig. 1 ist ein Bezugsimplantat 10 für den menschlichen Körper gezeigt, das durch ein Abbildungssystem nachweisbar ist. Das Bezugsimplantat weist einen ersten Abschnitt 12 und einen zweiten Abschnitt 14 auf. Der erste Abschnitt 12 ist so ausgebildet, daß er durch ein Abbildungssystem nachgewiesen werden kann (wenn er unterhalb der Haut angebracht ist). Der zweite Abschnitt 14 ist für eine feste Halterung an dem Knochen unterhalb der Haut ausgebildet, ohne vollständig den Knochen zu durchdringen und ohne den Knochen zu brechen. Der erste Abschnitt 12 ist genügend groß ausgebildet und besteht aus einem Material zum Nachweis durch ein Abbildungssystem, und ist genügend klein ausgebildet, um eine minimale Störung der Haut herbeizuführen, wenn er an der Grenzfläche zwischen der Haut und dem Knochen angebracht ist. Der erste Abschnitt 12 ist weiterhin mit zumindest einem Abschnitt versehen, der kugelförmig ist und eine Oberfläche zur Zusammenarbeit mit einem Werkzeug ausbildet, um den zweiten Abschnitt 14 an dem Knochen zu befestigen. Zusätzlich gestattet die Anordnung von drei Bezugsimplantaten 10 in einen Abschnitt der Anatomie des menschlichen Körpers die Wiederherstellung einer bestimmten Bildscheibe des Abschnitts der Anatomie, die von einem Abbildungssystem aufgenommen wurde, um im ersten Zeitraum, also bei der ursprünglichen Untersuchung, aufgenommene Bilder zu duplizieren. Dies befähigt einen Arzt dazu, den Fortschritt der Behandlung auf genaue Weise auf ausgewählten Scheiben zu verfolgen, welche die interessierende Anatomie darstellen.

Darüber hinaus gestattet die Existenz dreier Bezugsimplantate 10, daß ein Ziel (beispielsweise ein Tumor) in bezug auf ein externes Koordinatensystem identifiziert werden kann. Der Teil der Anatomie mit dem Ziel kann

dann operiert werden, beispielsweise durch einen Roboter, oder präzise bestrahlt werden.

Um den genauen Vergleich von Bildscheiben aus zumindest zwei unterschiedlichen Zeiträumen zu gestatten, werden die drei Bezugsimplantate 10 zuerst in den Körper eines Patienten in einem gewünschten interessierenden Bereich implantiert. Dann wird der Patient in ein Abbildungssystem eingebracht, und es werden Bilder einer Reihe von Querschnittsscheiben erhalten, die beispielsweise das Volumen des Tumors enthalten, der das interessierende primäre Ziel darstellt. Aus den erhaltenen Abbildungsdaten erfolgt die Lokalisierung der drei Bezugsimplantate, und in bezug hierzu wird ein internes Koordinatensystem definiert. Falls gewünscht, können die Bilddaten weiter in ihrem Format geändert werden, um Bildscheiben zu zeigen, deren Richtung anders ist als die ursprünglich während des Abbildungszeitraums erhaltene Richtung. Abhängig von der diagnostischen Information, die diese Bildscheiben zeigen, können entsprechende Entscheidungen in bezug auf eine Operation, Chemotherapie oder Bestrahlungstherapie eines Patienten getroffen werden. Die Bilddaten können ebenfalls von mehreren unterschiedlichen Abbildungsarten verwendet werden, beispielsweise CT, PET oder NMR, um dieselbe Ansicht der Anatomie zu erhalten, jedoch mit unterschiedlichen betonten Eigenschaften.

Wenn entschieden wird, daß weitere Abbildungsdaten zu einem späteren Zeitpunkt erhalten werden sollen, wird der Patient zum Abbildungssystem zurückgebracht, und der Vorgang zum Erhalt von Bilddaten wird wiederholt. Die Bezugsimplantate 10 werden in bezug auf die zweite Abbildungssitzung lokalisiert, und es wird dasselbe interne Koordinatensystem relativ zu den Implantaten 10 definiert. Sobald dasselbe interne Koordinatensystem in bezug auf die zweite Abbildungssitzung definiert wurde, werden die Translation und die Rotation des internen Koordinatensystems und der hiermit zusammenhängenden Bilder in bezug auf das bei der ersten Abbildungssitzung eingerichtete Koordinatensystem bestimmt. Eine aus der ersten Abbildungssitzung identifizierte Bildscheibe, die zur Diagnose verwendet werden soll, wird aus der zweiten Abbildungssitzung wiedergewonnen. Die beiden Bildscheiben, eine aus der ersten Abbildungssitzung und eine aus der zweiten Abbildungssitzung, werden verglichen, um festzulegen, ob und gegebenenfalls welche Änderungen bei der Anatomie des Patienten aufgetreten sind.

Im einzelnen erfordert ein dreidimensionales nicht collineares Koordinatensystem drei getrennte nicht collineare Punkte, um vollständig definiert zu sein. Falls es mehr als drei identifizierbare Punkte gibt, so ist das System überbestimmt, und drei Punkte müssen zur Festlegung des Koordinatensystems ausgewählt werden. Falls es weniger als drei identifizierbare unterschiedliche Punkte gibt, so ist das System unbestimmt, und es wird keine Position relativ zu dem einen identifizierbaren Punkt oder den zwei identifizierbaren Punkten definiert.

Die bekannte Lokalisierung dreier unterschiedlicher Punkte legt eine Ebene fest, auf der ein orthogonales Koordinatensystem eingerichtet werden kann. Wenn die drei Punkte zueinander an festen Orten im Verlauf der Zeit liegen, so kann ein Koordinatensystem eingerichtet werden, das ebenfalls in bezug auf die Zeit fixiert ist. Die Fähigkeit, ein nicht zeitabhängiges festes internes Koordinatensystem zum menschlichen Körper zu definieren, führt zu wichtigen Vorteilen. Ein vollständig

definiertes internes Koordinatensystem, das bezüglich des Ortes und bezüglich der Zeit fest ist, in bezug auf einen Ort in dem Körper, gestattet den Vergleich aufeinanderfolgender Abbildungen des Körpers, die in Abbildungssystemen wie etwa CT-Abtastungen, NMR-Abtastungen, oder PET-Abtastungen vorgenommen wurden, um nur einige zu erwähnen. Genauer gesagt gestatten diese Vergleiche einem Diagnostiker zu sehen, ob und gegebenenfalls welche Änderung innerhalb des Körpers an einem vorher festlegbaren Ort aufgetreten ist.

Durch Verwendung eines festen Koordinatensystems in bezug auf den Körper können dieselben Koordinaten im Verlauf der Zeit verglichen werden. Allerdings ist das Gewebe oder das Material des Körpers nicht notwendigerweise an einem Ort fixiert in bezug auf einen vorher festlegbaren Satz von Koordinaten im Verlauf der Zeit. Nach dem Ablauf der Zeit kann sich das Gewebe verschoben haben, und dies stellt eine nach Operationen nicht unübliche Änderung dar. Dennoch stellt die Fähigkeit, unterschiedliche Eigenschaften (abhängig von der Art der Abbildungen) des Gewebes bei denselben Koordinaten und zu unterschiedlichen Zeiten zu vergleichen, einen großen Vorteil für diagnostische Zwecke dar.

Im Prinzip können die drei Punkte (die erforderlich sind) zur Definition eines Koordinatensystems auf verschiedene Weisen ausgewählt werden. Bei einer Ausführungsform in bezug auf den Gehirn- oder Kopfbereich können die beiden Ohren und ein Zahn, oder die beiden Ohren oder die Nase die drei Punkte ausmachen. Alternativ kann eine Bildscheibe des Schädels einen Satz von Punkten bereitstellen, von dem die drei Punkte ausgewählt wurden, um das Koordinatensystem für den Körper zu erzeugen. Vorzugsweise stellen drei Bezugspunkte, die in den Körper implantiert werden und kontrastreiche Bilder während der Abtastung erzeugen, den verlässlichsten Weg zur Definition eines Koordinatensystems zur Verfügung. Idealerweise sollten die drei Punkte in demselben ungefähren Bereich des Körpers liegen, der untersucht wird, und sollten ebenfalls identifizierbar und meßbar durch unterschiedliche Abbildungssysteme sein, beispielsweise CT-Abbildungsgeräte und NMR-Abbildungsgeräte.

Um ein vollständig definiertes Koordinatensystem zu schaffen, ist die Bestimmung dreier unterschiedlicher nicht kollinearer Bezugspunkte erforderlich. In bezug auf die Schaffung eines vollständig definierten, mit dem menschlichen Körper verankerten Koordinatensystems schreibt das Nachweiserfordernis die Anforderung vor, daß Bezugsimplantate 10 aus einem Material hergestellt sind, das durch ein den menschlichen Körper abbildendes System detektierbar ist. Das Bezugsimplantat 10 weist einen ersten Abschnitt 12 auf, der eine Einrichtung zur Markierung einer vorher festlegbaren Position innerhalb eines Körpers bereitstellt, vergleiche Fig. 1. Der erste Abschnitt oder Markierer 12 stellt idealerweise einen hohen Kontrast in einem Bild zur Verfügung, verglichen mit dem umgebenden Material. Das Material, aus dem der Markierer 12 hergestellt ist, führt ebenfalls zu einer geringstmöglichen Störung des Bildes, so daß das Auftreten von Artefakten auf ein Minimum begrenzt ist. Der Markierer 12 ist ebenfalls sicher zur Verwendung im menschlichen Körper und ist unauffällig, so daß ein Träger sich nicht unkomfortabel oder beeinträchtigt fühlt.

Der Markierer 12 ist symmetrisch und einheitlich, um seine Lokalisierung durch das Abbildungssystem zu er-

leichtern. Wenn der Markierer 12 abgetastet wird, so stellt die Symmetrie sicher, daß jede Ebene durch das Implantat im wesentlichen dasselbe Bild zur Verfügung stellt sowie die Fähigkeit, den Schwerpunkt zu lokalisieren. Es ist deswegen so wichtig, den Schwerpunkt des Markierers 12 zu identifizieren, da derselbe exakte Punkt zur Verwendung bei der Definition des Koordinatensystems reproduzierbar aufgefunden werden kann. Ein von nachfolgenden Wiederherstellungen desselben Koordinatensystems infolge einer Verschiebung des Koordinatensystems von einer früheren Ausrichtung herrührender Fehler ist daher minimalisiert. Beispielsweise ist eine Kugel die Idealform für einen Markierer 12 in bezug auf symmetrische Einheitlichkeit, da das Bild jeder Ebene der Kugel immer ein Kreis ist.

Bei Kenntnis des Radius des kugelförmigen Objekts und durch Anwendung von Standardalgorithmen kann das Zentrum des kugelförmigen Markierers 12 aus jeder durch die Kugel gelegten Ebene bestimmt werden. Der Algorithmus zur Bestimmung des Zentrums einer Kugel kann einen Benutzereingriff erforderlich machen, um den ungefähren Ort des Implantats zu markieren. Der Schwerpunkt kann durch erfolgreiche Approximation von der Grenze des kreisförmigen Profils bestimmt werden, welches durch den Benutzereingriff identifiziert wird. Falls beispielsweise a priori-Informationen über die Dichteverteilung des Bildes des Bezugsimplantats vorliegen und angenommen wird, daß dieses Kugelsymmetrie aufweist, dann werden Abtastprofile durch dessen Bild zu glockenförmigen Verteilungen führen, deren Grenzen hieraus bestimmt werden können. Aus den Grenzpunkten wird der Schwerpunkt berechnet. Dies kann zusätzliche Scheiben erfordern, abhängig von der Größe des Bezugsimplantats und seiner Relativlage in bezug auf benachbarte Scheiben, insbesondere wenn die physikalische Größe des Implantats größer ist als die Abtastscheibe.

Wenn die Schwerpunkte der drei Bezugsimplantate (10a, 10b, 10c) bestimmt werden, dann legen zwei von ihnen (10a, 10b) beispielsweise den x-Achsenvektor des Koordinatensystems fest, und das Vektorprodukt der Vektoren 10a, 10b und 10a, 10c bestimmt vollständig das Koordinatensystem, wie in Fig. 5a gezeigt ist, die nachstehend noch eingehend beschrieben wird.

Der Markierer 12, der einen Durchmesser von 1 bis 10 mm, vorzugsweise 4 mm aufweist, kann beispielsweise aus Titan in Form einer Hohlkugel hergestellt sein. Der Hohlraum der Kugel kann beispielsweise mit einem Agarose-Gel gefüllt sein, das verschiedene gewünschte Dotiermittel aufweist, deren Auswahl von dem verwendeten Abbildungssystem abhängt, um den Markierer 12 am besten zu akzentuieren oder hervorzuheben. Der Markierer 12 ist fest mit einem zweiten Abschnitt 14 des Bezugsimplantats 10 verbunden.

Der zweite Abschnitt 14 stellt eine Einrichtung zum Verankern der Implantatvorrichtung 12 in dem Körper zur Verfügung. Der bevorzugte Verankerungsplatz für den Markierer 12 im Körper ist Knochen, da dieser ein gutes Material darstellt, um die Implantatvorrichtung an ihrem Ort zu halten, und weiterhin deswegen, da ein Knochen auch im Verlauf der Zeit in dem Körper an einem Ort verbleibt. Der Anker 17 ist lang genug, um in den Knochen einzudringen, mit dem er verankert wird, und weiterhin lang genug, um fest eingebettet zu sein, ohne den Knochen zu zerbrechen. Der Anker 14 ist 1 bis 10 mm, vorzugsweise 3 mm lang. Vorzugsweise sollte der Anker 14 in den Knochen eingeschraubt werden, anstatt mit einem Schlagwerkzeug eingetrieben zu wer-

den, um die Gefahr eines Knochenbruchs zu verringern. Der Anker 14 kann ebenfalls beispielsweise aus Titan hergestellt sein.

Das Bezugsimplantat 10 weist ebenfalls eine Einrichtung 16 zur Aufnahme einer Kraft auf, so daß die Ankervorrichtung 14 fest an dem Körper befestigt werden kann. Wenn die Ankervorrichtung 14 eine Schraube ist, ist vorzugsweise eine Eindellung 16 in Form einer polygonförmigen Ausnehmung zur Aufnahme eines Inbusschlüssels in der Implantatvorrichtung 12 angeordnet. Die Verwendung eines Inbusschlüssels mit der zugehörigen polygonalen Ausnehmung ist symmetrisch einheitlicher als der kreuzförmige Aufnahmeort für einen Kreuzschlitzschraubendreher oder der mit einer einzigen Nut versehene Aufnahmeort für einen üblichen Schraubendreher.

Die Implantation eines Bezugsimplantats 10 mit einem Anker, in diesem Falle einer Schraube 14, geschieht vorzugsweise unter Verwendung eines nicht dargestellten Trocars, um in die Haut einzudringen und einen gewünschten Ort am Knochen zu erreichen. Der Trocar wird zunächst auf die Haut über dem gewünschten Verankerungsort aufgesetzt, und eine darin angeordnete Durchstechstange wird durch die Haut getrieben. Dann wird die Durchstechstange in dem Trocar entfernt, während der Trocar an seinem Platz bleibt. Eine Stange mit einem Inbusschlüsselkopf, der an die polygonale Ausnehmung 16 in der Implantatvorrichtung 12 des Implantats 10 angepaßt ist, wird in den Trocar eingeführt, bis der Schraubenabschnitt 14 des Implantats 10 den Verankerungsort erreicht, beispielsweise den Knochen. Dann wird auf den Abschnitt der Stange, der sich aus dem Trocar herauserstreckt, eine Kraft ausgeübt, bis das Implantat 10 in dem Knochen eingebettet ist. Ein derartiger Vorgang wird unter Lokalanästhesie durchgeführt und sollte nur etwa 5 Minuten dauern.

Die Platzierung der drei Bezugsimplantate 10 hängt von dem zu beurteilenden Abschnitt der Anatomie ab. Im wesentlichen werden drei Bezugsimplantate 10 an drei Orten angeordnet, so daß sie einfach identifizierbar sind und die Orte in bezug aufeinander im Verlauf der Zeit fixiert sind. Wenn beispielsweise eine Untersuchung des Schädels und Gehirns unternommen werden soll, wird vorzugsweise ein Implantat 10A auf der Mittellinie des Schädels 18 gerade oberhalb des Haaransatzes angeordnet, und die anderen zwei Implantate 10B, 10C werden auf der rechten beziehungsweise linken Seite der Mittellinie und weiter hinten als das Implantat 10A auf der Mittellinie angeordnet. Dies geht aus Fig. 2a und 2b hervor, die eine Frontalansicht beziehungsweise eine Aufsicht des Schädels 18 darstellen. Ein anderes Beispiel für einen interessierenden Bereich ist der Torso, wobei ein Bezugsimplantat 10 auf der Mittellinie des Brustbeins (Sternum) angeordnet wird, und die beiden anderen Bezugsimplantate 10 seitlich hierzu auf der rechten beziehungsweise linken Seite und in einer Rippe. Es kann aber auch ein Bezugsimplantat 10 im spinalen Raum eines Wirbels in der Mittellinie angeordnet werden und die beiden anderen Bezugsimplantate im Kamm des rechten beziehungsweise linken Weichenbeins.

Das Abbildungsgerät stellt eine feste Achse zur Verfügung, in bezug auf welche jede andere Lage im Raum lokalisiert werden kann. Dies führt dazu, daß die Position des Bezugsmarkierers und das Koordinatensystem, das diese Markierer definieren, in bezug auf das Abbildungsgerät lokalisiert werden können. Diese Merkmale der Erfindung erlauben es, den Ort der Markierer rela-

tiv zum Abbildungsgerät zum Nachschlagen in der Zukunft aufzuzeigen. Bei folgenden Abtastungen kann sich die Orientierung des Patienten in bezug auf das Abbildungsgerät ändern. Diese Neuorientierung kann durch Lokalisierung der Bezugsmarkierer in bezug auf das Abbildungsgerät und Vergleich mit dem vorher aufgezeichneten Ort gemessen werden. Das Vergleichsverfahren gestattet eine Reorientierung von Bildern nachfolgender Abtastungen in eine Position, die der früheren aufgezeichneten Abtastung entspricht, so daß sich die Bildscheiben immer im wesentlichen an demselben Querschnitt der früher aufgezeichneten Scheiben befinden.

Im tatsächlichen Betrieb werden diese Positionen durch Koordinatensysteme definiert, und es ist die Position dieser Systeme, die wie nachstehend erläutert durch Translation oder Rotation erreicht wird.

Nachdem die Bezugsimplantate 10 an ihrem Ort sind und ein Koordinatensystem definiert ist, können folgende Bilder desselben anatomischen Volumenbereichs verglichen werden. Wenn beispielsweise Bilder des Gehirns aufgenommen werden, kann der Kopf einer Person unterhalb, oberhalb oder seitlich (siehe Fig. 3) des Ortes des Kopfes bei einer früheren Abbildungssitzung angeordnet werden. Der Kopf kann (vergleiche Fig. 4) im Vergleich zu seiner Orientierung während einer früheren Abbildungssitzung gedreht werden. Auch kann sich im Vergleich zu einer früheren Abbildungssitzung, siehe Fig. 5, der Kopf translatorisch bewegt haben oder sich gedreht haben. Unabhängig davon, aus welchem Grund der Kopf unterschiedlich orientiert ist, kann unter Ausnutzung des Vorteils des festen, vollständig definierten inneren Koordinatensystems in dem Gehirn ein früherer Punkt oder Scheibenbild des Gehirns aus nachfolgenden Bildinformationen erhalten werden. Dies wird, wie in Fig. 6 gezeigt ist, erreicht durch Vergleich des Ortes und der Richtung der Ebene, die durch die drei Bezugspunkte bei der ersten Untersuchung definiert wurde, mit dem Ort und Richtung derselben Ebene, die durch die drei Bezugspunkte zum Zeitpunkt der zweiten Untersuchung definiert wird. Zur Vereinfachung ist der Ursprung des Koordinatensystems an einem gegebenen Bezugspunkt angeordnet. Durch Messung der Entfernung in beispielsweise der x-, y- und z-Richtungen zwischen demselben Bezugspunkt (den Ursprüngen) zu den beiden unterschiedlichen Zeiten kann die Translation des Ursprungs eines Koordinatensystems in bezug auf das andere erhalten werden.

Vorzugsweise kann die Transformation in bezug auf die Drehung von einem gegebenen kartesischen Koordinatensystem auf ein anderes mittels dreier aufeinanderfolgender Drehungen ausgeführt werden, die in einer bestimmten Folge durchgeführt werden. Dann werden drei als Eulersche Winkel bekannte Winkel definiert. Diese drei Eulerschen Winkel sind die drei aufeinanderfolgenden Drehwinkel, die erforderlich sind, um die Transformation auszuführen. Die Bestimmung der Eulerschen Winkel wird dadurch erreicht, daß zuerst der Schnitt zweier durch die Bezugsimplantate festgelegter Ebenen berechnet wird, dann der Winkel zwischen der Bezugs-x-Achse und der Schnittlinie ( $\psi$ ) berechnet wird, dann der Winkel  $\theta$ , und schließlich der Winkel  $\phi$  berechnet wird. Dann sind die drei Eulerschen Winkel festgelegt. Für das in den Fig. 5a, 5b und 5c gezeigte Beispiel wird die Sequenz, die zur Ausführung der Transformation erforderlich ist, eingeleitet durch Drehung des anfänglichen Achsensystems xyz um einen Winkel  $\phi$  gegen den Uhrzeigersinn um die

z-Achse, wie in Fig. 5a gezeigt ist. Das resultierende Koordinatensystem wird durch die  $xi'$ ,  $eta'$ ,  $zeta'$ -Achsen bezeichnet. In der zweiten Stufe werden die zeitweiligen Achsen  $xi$ ,  $eta$ ,  $zeta$  um die  $xi$ -Achse gegen den Uhrzeigersinn um einen Winkel  $\theta$  gedreht, um einen weiteren Zwischensatz zu erzeugen, nämlich die  $xi''$ ,  $eta''$ ,  $zeta''$ -Achsen, wie in Fig. 5b gezeigt ist, in der das dritte Bezugssystem 10c zu Erleichterung des Verständnisses nicht gezeigt ist. Die  $xi''$ -Achse befindet sich am Schnitt der  $xy$ - und  $xi''eta''$ -Ebenen und ist als Knotenlinie bekannt. Schließlich werden die  $xi''$ ,  $eta''$  und  $zeta''$ -Achsen gegen den Uhrzeigersinn um einen Winkel  $\psi$  um die  $xi''$ -Achse gedreht, um das gewünschte  $x'y'z'$ -Achsensystem zu erzeugen, das in Fig. 5c gezeigt ist. Daher legen die Eulerschen Winkel  $\theta$ ,  $\phi$  und  $\psi$  vollständig die Orientierung des  $x'y'z'$ -Koordinatensystems relativ zum  $xyz$ -Koordinatensystem fest und können daher als die drei erforderlichen generalisierten Koordinaten verwendet werden.

Die Elemente der vollständigen Transformation  $A$  können erhalten werden, indem eine vollständige Transformationsmatrix als das Dreifachprodukt der getrennten Rotationen aufgeschrieben wird, von denen jede in Matrixform geschrieben werden kann. Daher kann die anfängliche Rotation um die  $z$ -Achse durch die Matrix  $D$  beschrieben werden:

$$xi = Dx$$

wobei  $xi$  und  $x$  Spaltenmatrizen darstellen. Entsprechend kann die Transformation von  $xi$ ,  $eta$ ,  $zeta$  zu  $xi'$ ,  $eta'$ ,  $zeta'$  durch die Matrix  $C$  beschrieben werden:

$$x' = Cxi$$

und die letzte Drehung zu  $x'y'z'$  durch eine Matrix  $B$

$$x' = Bxi'$$

Daher kann die Matrix der gesamten Transformation geschrieben werden als

$$x' = Ax$$

und dies stellt das Produkt der aufeinanderfolgenden Matrizen dar:

$$A = BCD$$

Die Matrix  $D$  kann geschrieben werden als

$$D = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi & R \\ -\sin \phi & \cos \phi & R \\ R & R & 1 \end{pmatrix}$$

Die Matrix  $C$  kann geschrieben werden als

$$C = \begin{pmatrix} 1 & R & R \\ R & \cos \theta & \sin \theta \\ R & -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

Die Matrix  $B$  kann geschrieben werden als

$$B = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi & R \\ -\sin \psi & \cos \psi & R \\ R & R & 1 \end{pmatrix}$$

Die Produktmatrix  $A = BCD$  wird dann unter Zuhilfenahme des voranstehenden Ausdrucks erhalten. Die Reihenfolge der Matrixmultiplikation hängt von der zu lösenden Aufgabe ab; im vorliegenden Fall definiert sie die Transformation von dem  $xyz$ -Achsensystem auf das  $x'y'z'$ -Achsensystem.

Nachdem die Eulerschen Winkel bestimmt sind, ist zumindest grundsätzlich das Problem der Orientierung gelöst. Eine wesentliche Vereinfachung der Berechnung läßt sich allerdings erreichen, wenn der Satz von Euler angewandt wird.

Der Satz von Euler über die Bewegung eines starren Körpers besagt, daß die allgemeine Verschiebung eines starren Körpers mit einem festgehaltenen Punkt eine Drehung um irgendeine Achse darstellt.

Wenn der feste Punkt als Ursprung des Körperachsensystems genommen wird, dann führt die Verschiebung des starren Körpers zu keiner Translation des Körperachsensystems, und die einzige Änderung ist die Orientierung. Der Satz sagt dann aus, daß das Körperachsensystem immer als einzige Rotation des ursprünglichen Koordinatensystems erhalten werden kann. Es ist kennzeichnend für die Rotation, daß sie die Richtung der Rotation durch die Operation unbeeinflusst läßt. Mit anderen Worten muß jeder Vektor, der in der Richtung der Drehachse liegt, vor und nach der Rotation dieselben Komponenten aufweisen. Eine notwendige Bedingung besteht darin, daß die Größe des Vektors unbeeinflusst bleibt, und dies wird automatisch durch die Orthogonalitätsbedingungen gesichert. Daher kann der Satz von Euler bewiesen werden, wenn gezeigt wird, daß ein Vektor  $R$  existiert, der vor und nach der Transformation, also in beiden Systemen, dieselben Komponenten hat. Hieraus folgt, daß

$$R' = AR = R$$

Der voranstehende Eigenwert kann geschrieben werden als

$$AR = kR$$

wobei  $k$  eine Konstante darstellt. Die Werte, für die  $k$  lösbar ist, werden Eigenwerte der Matrix genannt. Die Eigenwertgleichungen können geschrieben werden als

$$(A - kI)R = 0$$

Diese Gleichung umfaßt einen Satz dreier homogener gleichzeitiger Gleichungen für die Komponenten  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  des Vektors  $R$ . Daher können sie niemals die bestimmten Werte der drei Komponenten zur Verfügung stellen, sondern nur deren Verhältnisse. Daher bleiben die Größen der Komponenten unbestimmt. Für homogene Gleichungen muß die Determinante der voranstehenden Gleichung verschwinden, und die Lösung stellt die Werte  $k$  zur Verfügung. Für reelle, orthogonale Matrizen der Gleichung muß gelten:  $k = \pm 1$ .

Im allgemeinen hat die Gleichung drei Wurzeln, entsprechend drei Eigenvektoren. Die Betrachtung führt zu einer Diagonalmatrix von  $k$

$$K = \begin{pmatrix} k_1 & R & R \\ R & k_2 & R \\ R & R & k_3 \end{pmatrix}$$

Die Matrixgleichung kann dann geschrieben werden



als

$$AR = Rk$$

oder, durch multiplizieren von links mit  $R^{oo}(-1)$  5  
 $R^{oo}(-1)Ar = k$

Diese Gleichung stellt eine nützliche Vorgehensweise zur Lösung des Problems zur Verfügung: Suche eine Matrix, die  $A$  in eine Diagonalmatrix transformiert, deren Elemente die gewünschten Eigenwerte sind.

Schließlich muß der Drehwinkel bestimmt werden. Die Richtungscosinus der Drehachse können erhalten werden, indem  $k = 1$  in der Eigenwertgleichung gesetzt wird und diese für die Komponenten von  $R$  gelöst wird. 15  
 Es läßt sich zeigen, daß die Spur der Matrix  $A$  verwendet werden kann, um den Drehwinkel zu bestimmen. Man muß die Spur  $T$  von  $A$  bestimmen, also

$$T = 1 + \cos W$$

woraus  $W$  bestimmt werden kann.

Damit die voranstehend beschriebenen Rotationen irgendeine Bedeutung haben, muß sich das Bezugsimplantat 10A oder irgendein Punkt für die beiden Koordinatensysteme, die ausgerichtet werden, an demselben Platz befinden. Dies erfordert eine Translation des Bezugsimplantats 10A an einem Ort, der einem Koordinatensystem entspricht, in den Ort des Bezugsimplantats 10A in dem anderen Koordinatensystem. Durch einfache Bewegung des gewünschten Koordinatensystems um lineare Beträge von  $x$ ,  $y$  und  $z$  in bezug auf ein kartesisches Koordinatensystem, befindet sich das Bezugsimplantat 10A an dem selben Ort. Für eine vollständige Diskussion der Transformation eines kartesischen Koordinatensystems in ein anderes vergleiche Herbert Goldstein, Classical Mechanics, Addison Wesley, Reading, MA, 1965, Seite 107 – 109.

Daher kann jeder Punkt in bezug auf die Translation und Rotation eines gegebenen kartesischen Koordinatensystems erhalten werden. Da jeder Punkt erhalten werden kann, kann auch jede Ebene erhalten werden, da eine Ebene aus einem Satz von Punkten besteht. Wenn man beispielsweise einen gegebenen Punkt im Verlauf der Zeit betrachten möchte, wird die Koordinate des Punktes in bezug auf eine erste Zeit identifiziert. Die Translations- und Rotationsinformation entsprechend dem Koordinatensystem zur ersten Zeit in bezug auf die zweite Zeit wird dann auf den Punkt zur ersten Zeit angewendet, um die Koordinaten des identischen Punktes im Koordinatensystem zur zweiten Zeit zu erhalten. Dann werden die sich auf den zweiten Zeitpunkt beziehenden Abbildungsdaten durchsucht, um den gewünschten Punkt aufzufinden. Dies ist nur einer von zahlreichen Wegen, um denselben Punkt im Koordinatensystem als Funktion der Zeit zu erhalten.

Entsprechend wird für eine Ebene oder ein Scheibenbild dasselbe Verfahren auf jeden Punkt des Punktsatzes angewendet, der das Scheibenbild ausmacht. Die gewünschten Punkte werden dann in der Bildinformation gesucht, die dem Koordinatensystem zur zweiten Zeit entspricht. Nachdem sämtliche Punkte mit ihren zugehörigen Bildinformationen identifiziert sind, werden sie umformatiert, um eine Bildscheibe zu erzeugen, die der gewünschten Bildscheibe, die sich auf das Koordinatensystem zur ersten Zeit bezieht, soweit wie möglich entspricht. Selbstverständlich muß die Lage der vom Arzt aus den ursprünglichen Bildscheiben ausge-

suchten Scheibe in bezug auf die Bezugsimplantate bestimmt werden. Zu diesem Zweck werden vorzugsweise die  $z$ -Koordinaten oder die Höhenkoordinaten des Systems eingeführt. Dies kann ohne Bezug auf irgendeine Scheibe in dem Bildsatz geschehen. Beispielsweise kann die Scheibe ausgewählt werden, die das erste Bezugsimplantat enthält.

Idealerweise werden beim Umformatierungsschritt Bildpunkte von Bildscheiben der zweiten Zeit genommen und zusammen ausgerichtet und eine Bildscheibe erzeugt, die soweit wie möglich der gewünschten Bildscheibe der ersten Zeit gleicht. Allerdings existiert in der Praxis recht häufig ein Punkt nicht, der zur Erzeugung eines umformatierten Bildes erforderlich ist, da Bildscheiben beispielsweise oberhalb und unterhalb des Punktes aufgenommen wurden. In diesem Fall muß eine Interpolation verwendet werden, um die Beiträge des fehlenden Punktes abzuschätzen und so eine gewünschte Bildscheibe herzustellen. Beispielsweise verwendet ein einfaches Interpolationsverfahren die beiden zum nicht existierenden gewünschten Punkt nächstgelegenen bekannten Punkte. Diese beiden bekannten Punkte sind auch soweit wie möglich einander gegenübergelegen, mit dem gewünschten Punkt dazwischen, und es wird der Durchschnitt ihrer Bildwerte genommen. Ist beispielsweise die Intensität des einem Punkt zugeordneten Bildes 6 Einheiten auf einer Skala von 1 bis 10 Einheiten, und die des zweiten Punktes 4 Einheiten, und die beiden Punkte weisen eine im wesentlichen gleiche Entfernung von dem gewünschten Punkt auf, so wird dem gewünschten Punkt ein Bildintensitätswert von 5 Einheiten zugewiesen. Vergleiche Fig. 6, die das gesamte voranstehende Verfahren beschreibende Flußdiagramm zeigt.

Ein Interpolation kann vermieden werden, wenn das interne Koordinatensystem zu den unterschiedlichen Zeiten, an welchen Abbildungsdaten erhalten werden, in eine identische Lage gebracht wird. Dies kann dadurch erreicht werden, daß man veranlaßt, daß die drei Bezugsimplantate 10 sich in exakt derselben Lage befinden, wenn Abbildungsdaten aufgenommen werden. Wenn man beispielsweise ein Röntgengerät hat oder dem nachstehend geschilderten Verfahren folgt, das den Ort der Bezugsimplantate im Körper in bezug auf ein externes Koordinatensystem ergibt, und wenn man weiß, an welchem Ort die Implantate zum ersten Zeitpunkt lagen, an welchem eine Abbildung vorgenommen wurde, kann der Körper bewegt werden, um sich an denselben exakten Ort zu befinden. Ein Weg zur Bewegung des Körpers in eine Lage erfolgt mit einem Tisch oder einer Plattform, die dreidimensional bewegbar ist. Wenn man dann weiß, wo sich das Koordinatensystem im Körper in bezug auf die Plattform befindet, kann die Plattform nach oben, unten, vorwärts, rückwärts und/oder zur Rotation bewegt werden, so daß das interne Koordinatensystem in exakt derselben Weise angeordnet ist wie beim erstenmal, als Abbildungsdaten erhalten wurden.

Zusammenfassend und unter Bezug auf Fig. 6 umfaßt das Verfahren die folgenden Schritte:

1. Lokalisierung der Bezugsimplantate in dem anfänglichen Untersuchungsbildsatz, und Einrichtung des internen Koordinatensystems;
2. Auswahl der interessierenden Scheibe oder Scheiben in dem anfänglichen Satz;
3. Bestimmung der Translationsentfernung zwischen dem durch die Bezugsimplantate festgeleg-

- ten Koordinatensystem und der ausgewählten Scheibe;
4. Lokalisierung der Bezugsimplantate in der Nachsorgeuntersuchung;
5. Bestimmung der Eulerschen Winkel in dem Koordinatensystem;
6. Bestimmung der Koordinaten jedes Punktes in der transformierten Scheibe, die der ausgewählten Scheibe in dem ursprünglichem System entspricht; und
7. Bestimmung der Intensitätswerte in jedem Punkt unter Verwendung von Interpolation in Axialrichtung (Axialrichtung ist definiert als die Bewegungsrichtung des Tisches des Abbildungsgeräts).

Obwohl es zahlreiche unterschiedliche Hardware- und Software-Ausführungsformen zur Ausführung der Bearbeitung der Bilddaten gibt, können diese jeweils entsprechend ihrer Funktion wie folgt unterteilt werden:

- (1) Hardware, die eine schnelle Rekonstruktion des Querschnittsbildes erleichtert;
- (2) Bildanzeige mit Interaktion durch eine Bedienungsperson;
- (3) Speichergerät für Bilder;
- (4) Kopierfähigkeit, um dauerhafte Kopien der Abbildungen herzustellen.

Eine Ausführungsform verwendet einen existierenden Computer und seine Peripheriegeräte zur Erzeugung der umformatierten Bilder.

Eine weitere Ausführungsform verwendet ein selbständiges System, bei welchem die Bilder von dem jeweiligen Abbildungsgerät zugeführt werden, und dann wird die Vergleichsuntersuchung in dem selbsttätigen System vorgenommen. Der gesamte Computerteil des Abbildungsgeräts muß im wesentlichen doppelt vorhanden sein, und es müssen unterschiedliche Optionen für zugeführte Dateneingabe gegeben sein, damit Bilder sämtlicher Typen verarbeitet werden können. Die Möglichkeit zur Erzeugung dauerhafter Kopien ist ebenfalls wünschenswert, beispielsweise eine Matrixkamera, da dauerhafte Aufzeichnungen für einen Diagnostiker für unschätzbarem Wert sind.

Gleichwie ob ein selbsttätiges System oder ein existierendes System zur Implementierung der voranstehend beschriebenen Umformatierung modifiziert wird, werden die Abbildungen vorzugsweise als Files mit zwei Teilen gespeichert: (1) einem Kopfteil, der die persönlichen Daten des Patienten und Information der Untersuchung selbst enthält, also technische Parameter der Belichtung oder des Abbildungsverfahrens; und (2) die Bildmatrix. Diese zwei Teile werden vorzugsweise zeitweilig (gewöhnlich für einige Tage) auf magnetischen Festplatten gespeichert, und dann auf ein dauerhaftes Speichermedium übertragen, beispielsweise wie Magnetband oder Floppydisk. Zusätzlich zu diesem Fileaufbau kann ein Unterfile zugefügt werden, der die Ergebnisse der Berechnung enthält (beispielsweise können die Eulerschen Winkel zugefügt werden).

Ein Gerät 100 führt die Abbildung, Signalverarbeitung und die Anzeige durch, die erforderlich sind, um Abbildungen im wesentlichen derselben Koordinaten in dem menschlichen Körper zu erzeugen, die im Verlauf der Zeit verglichen werden können, oder um den Ort von Zielen anzugeben, beispielsweise Tumoren, und ein derartiges Gerät ist in Fig. 7 dargestellt. Ein solches

Gerät 100 besteht aus einem Abbildungsgerät 102, das Abbildungsdaten liefert, und wird durch einen programmierbaren Computer 104 gesteuert. Die Abbildungsdaten werden von einer Quelle 106 in dem Abbildungsgerät 102 erhalten, die etwa über einem Patienten 107 auf der Fachwelt wohlbekannte Weise angeordnet wird. Die Abbildungsdaten werden, wie voranstehend beschrieben, einer Signalverarbeitung unterworfen, und die gewünschten Abbildungen werden auf einer Anzeigevorrichtung 108 dargestellt. Zusätzlich kann ein Benutzereingriff durch ein Benutzerbedienungspult 110 erfolgen, und die Koordinaten eines Ziels können in den Koordinaten der Zielanzeigevorrichtung 112 für Bestrahlungstherapieanwendungen dargestellt werden.

Eine Anwendung, die sich der Vorteile eines vollständig definierten internen Koordinatensystems des Körpers bedient, bezieht sich auf Bestrahlungsbehandlung. Zur Bestrahlungstherapie muß der Ort eines radioaktiven Strahls eines externen Koordinatensystems in Bezug zu dem internen Koordinatensystem gesetzt werden. Vergleiche Fig. 5, wo das externe Koordinatensystem als das ungestrichene System und das interne System als das gestrichene System angesehen werden kann. Der Punkt *P* kann den Ort eines Punktes eines Tumors darstellen. In dieser Situation sind die tatsächlichen Entfernungen und Orte des Punktes *P* in dem gestrichenen Koordinatensystem und der Ort des Ursprungs des gestrichenen Koordinatensystems wichtig. Wenn der Punkt *P* in Bezug auf das interne oder gestrichene Koordinatensystem bekannt ist, und das gestrichene Koordinatensystem in Bezug auf das externe oder ungestrichene Koordinatensystem sowie die Eulerschen Winkel der Rotation bekannt sind, dann ist der Ort des Punktes *P* in Bezug auf das externe Koordinatensystem bekannt. Beispielsweise und unter Bezug auf Fig. 7 gibt es für die Bestrahlungsbehandlung oder die Chirurgie zahlreiche Verwendungen, wenn man weiß, wo sich das interne Koordinatensystem *A* in Bezug auf das externe Koordinatensystem *B* befindet. Wenn in der Bestrahlungstherapie der Ort eines Tumors in Bezug auf das interne Koordinatensystem bekannt ist, und das interne Koordinatensystem in Bezug auf ein externes Koordinatensystem bekannt ist, das eine Strahlungsquelle 20, beispielsweise ein Röntgengerät zur Abtötung von Krebszellen, aufweist, dann kann Strahlung nur auf den Tumor ausgeübt werden, unter der Voraussetzung, daß sie sich auf das Volumen nur des Tumors konzentrieren kann. Hierdurch wird das Raten eines Röntgentherapeuten entbehrlich, der auf verschiedene Bilder eines Tumors in einem Körper sieht und schätzt, wohin er die Strahlungsquelle richten soll, um so hoffentlich nur den Tumor zu bestrahlen. Der Ort eines Tumors in einem internen Koordinatensystem kann, beispielsweise durch eine erste Abbildungssitzung, identifiziert werden. Die hier von erhaltenen Daten werden in einem Medium gespeichert, das ein Wiederauslesen der Daten gestattet, wenn der Ort des Tumors gewünscht ist und nicht noch einmal Bilder der Anatomie genommen werden sollen.

Ein Weg zur Durchführung der Bestrahlung eines bestimmten Ortes in dem Körper 32, an dem sich beispielsweise ein Tumor befindet, umfaßt die Verwendung eines Roboterarmes 34, dessen Basis 36 als Ursprung (0, 0, 0) des externen Koordinatensystems *B* ausgewählt werden kann. An der Spitze 38 des Roboterarms 34 befindet sich ein Sensor 40. Der Sensor 40 kann ein Metalldetektor oder ein Ultraschalldetektor sein oder jedes Instrument, das die Lage eines Bezugsimplantats 10 in einem Körper 32 abfühlen kann. Wenn die Bezugsimplantate 10 in ei-

nen Schädel 18 eingesetzt sind und sich hierin ein Tumor befindet, wird die Spitze 38 des Roboterarms 34 durch den Arm 34 bewegt, bis sie ein Bezugssimplantat 10 in dem Schädel 18 berührt. Die Bewegung des Roboterarms 34 wird durch einen Computer (nicht dargestellt) verfolgt, und daher ist die Lage des Sensors 40 in bezug auf die Basis 36, den Ursprung 0 des externen Koordinatensystems *B*, des Arms 34 bekannt. Die Einrichtung zur Verfolgung des Arms ist wohlbekannt und wird durch (nicht dargestellte) Sensoren in kritischen Orten des Arms 34 bewirkt, die eine Drehung oder Bewegung der Verbindungsglieder 42 des Arms 34 detektieren. Durch Zuführung dieser Information zu einem Computer, zusammen mit den Informationen bezüglich der festen Längen des Aufbaus des Roboterarms 34, ist der Ort der Spitze 38 des Arms 34 immer bekannt. Wenn die Spitze 38 des Arms 34 auf dem Bezugssimplantat 10 in dem Schädel 18 ruht, so ist der Ort des internen Koordinatensystems *A*, das durch die Bezugssimplantate 10 festgelegt ist, in bezug auf das äußere Koordinatensystem *B* bekannt. Wenn die Eulerschen Winkel der Drehung und der Ort des Tumors, der relativ zum internen Koordinatensystem *A* bekannt ist, dem Computer zugeführt werden, kann der Ort des Tumors in dem externen Koordinatensystem *B* bestimmt werden. Der Ort des Tumors ist in bezug auf das interne Koordinatensystem durch beispielsweise die bereits gespeicherten Abbildungsdaten bekannt, und durch die Tatsache, daß die Bezugssimplantate 10 ebenfalls in fester Lage zueinander angeordnet sind, nachdem sie einmal angebracht wurden. Dem Computer ist die Strahlungsquelle 30 bekannt und wohin diese gerichtet ist, in bezug auf das externe Koordinatensystem *B*. Der Computer, dem die Information vorliegt, wo sich der Tumor in dem externen Koordinatensystem *B* befindet, kann die Strahlungsquelle 30 ausrichten, um den Ort des Tumors im Gehirn präzise zu bestrahlen. Im allgemeinen wird der Ort eines Punktes *P* in dem internen Koordinatensystem relativ zum externen Koordinatensystem bestimmt, wenn die Entfernung zwischen den Ursprüngen der beiden Koordinatensysteme bekannt ist und die Eulerschen Winkel bekannt sind, wie voranstehend ausgeführt wurde.

In der Chirurgie kann das durch die drei Bezugspunkte definierte interne Koordinatensystem es beispielsweise gestatten, daß ein Laser verfolgt wird, während er durch Gewebe zu einem Tumor schneidet. Ein im Operationsraum vorgesehenes Abbildungssystem wird so angeordnet, daß es kontinuierlich Abbildungsdaten aufnimmt, die einem Computersystem zugeführt werden, das ebenfalls auf der Grundlage der zugeführten Daten den Laser führt. Während der Laser durch das Gewebe schneidet, wird die Änderung des Gewebes durch das Abbildungssystem deutlich und kann in bezug auf das feste interne Koordinatensystem verfolgt werden. Wenn ein vorher festlegbarer Ort durch den Laser erreicht ist oder ein vorher festlegbarer Abschnitt des Gewebes durch den Laser entfernt wurde, so bricht der Computer, der den Laser steuert und die Abbildungsdaten verarbeitet, den Betrieb des Lasers ab.

Beim Betrieb gemäß der vorliegenden Erfindung werden, nachdem sich die Bezugssimplantate in einem Patienten an ihrem Ort befinden, zu einem ersten Zeitpunkt Abbildungsdaten aufgenommen und gespeichert. In festgelegten Zeitintervallen, beispielsweise in jedem weiteren Jahr danach, kehrt der Patient zum Ort des Abbildungssystems oder eines ähnlichen Systems zurück und unterzieht sich einer Nachsorgeabbildung. Die zuletzt aufgenommenen Abbildungsdaten werden dann,

wie voranstehend beschrieben, umformatiert, um hochgenaue Abbildungen derselben Querschnitte des Körpers zu erhalten, wie derer, die in der früheren Sitzung aufgenommen wurden. Die Bilder von der letzten Sitzung werden dann mit der früheren Sitzung verglichen (falls es mehrere frühere Sitzungen gibt, können sie sämtlich für Vergleichszwecke herangezogen werden), um zu bestimmen, ob sich irgendwelche signifikante Änderungen ergeben haben, etwa eine Progression oder Regression einer Abnormität, beispielsweise eines Tumors. Die Bilddaten, die aus verschiedenen Abbildungssitzungen gesammelt und in unterschiedlichen Zeitintervallen aufgenommen wurden, können selbstverständlich auf zahlreiche Weisen verglichen werden, etwa durch Umformatieren von Bildern, die bei früheren Sitzungen genommen wurden, um eine interessierende Bildscheibe zu zeigen, die aus der letzten Sitzung ausgewählt wurde, anstelle nur eines Vergleichs von Bildscheiben einer letzten Sitzung mit denen früherer Sitzung. Wie bereits voranstehend ausgeführt wurde, können die Vergleiche mehrere Zwecke verfolgen: (a) entweder eine einfache Überwachung des Wachstums des Tumors, ohne Therapie; oder (b) die Bestätigung einer therapeutischen Behandlung, beispielsweise Bestrahlung oder Chemotherapie; oder (c) die Nachüberwachung einer chirurgischen Behandlung.

Beim erfindungsgemäßen Betrieb in bezug auf Bestrahlungstherapie wird der Tumor zunächst im Körper des Patienten identifiziert. Dann wird der Patient in das Abbildungssystem eingebracht, so daß zumindest der Tumorbereich abgebildet werden kann. Das Abbildungssystem wird eingesetzt, um die Lage des Tumors in dem internen Koordinatensystem zu lokalisieren. Dann können die Bilddaten beispielsweise für eine spätere Verwendung gespeichert werden, und so wird die Position des Tumors identifiziert, ohne daß jedesmal neue Bilder erhalten werden müssen, wenn eine Bestrahlungstherapie durchgeführt wird. Dann kann der Patient vor eine Strahlungsquelle gebracht werden, und jedesmal dann, wenn eine Bestrahlungstherapie erfolgt, wird die gespeicherte Information von der Abbildungssitzung dem Computer zugeführt, der die Bestrahlungsquelle betätigt. Das interne Koordinatensystem wird in bezug auf das externe Koordinatensystem lokalisiert, beispielsweise durch Lokalisierung eines Bezugssimplantats, wie voranstehend beschrieben ist, in bezug auf eine bekannte Position in dem externen Koordinatensystem. Sobald die Position des internen Koordinatensystems in bezug auf das externe Koordinatensystem bekannt ist, ist die Tumorposition in bezug auf das externe Koordinatensystem bekannt, da die Tumorposition bereits in bezug auf das interne Koordinatensystem von der gespeicherten Bildinformation bekannt ist. Dann wird eine Strahlungsquelle auf den Tumor in dem Körper gerichtet, beispielsweise durch einen Computer, der die Abbildungs- und Positionsdaten empfängt. In bezug auf die Chirurgie ist das Verfahren, das eingesetzt wird, um die Vorteile der Bezugssimplantate zu nutzen, gleich dem voranstehend beschriebenen Verfahren für Bestrahlungstherapie. Sobald der Tumor in bezug auf das interne Koordinatensystem lokalisiert ist und der Ort des internen Koordinatensystems in bezug auf das externe Koordinatensystem bekannt ist, ist der Tumor in bezug auf das externe Koordinatensystem lokalisiert. Chirurgische Instrumente können dann mit dem Computer auf den Tumor geleitet werden, wobei das Abbildungssystem interaktiv mit dem Computer arbeitet. Die Abbildungsdaten, die das Abbildungssystem dauernd dem

Computer zuführt, gestatten dem Computer, den Fortschritt und das Ausmaß der Operation zu verfolgen.

Augenscheinlich sind zahlreiche (weitere) Modifikationen und Änderungen der vorliegenden Erfindung in Ansehung der voranstehenden technischen Lehre möglich. Es wird daher darauf hingewiesen, daß die Erfindung auch innerhalb des Umfangs der beigefügten Patentansprüche anders als gemäß der speziellen Ausführungsbeispiele ausgeführt werden kann.

#### Patentansprüche

##### 1. Bezugsimplantat für den menschlichen Körper mit

- a) einem ersten Abschnitt und einem zweiten Abschnitt, wobei der erste Abschnitt zum Nachweis durch ein Abbildungssystem ausgebildet ist;
- b) wobei der zweite Abschnitt zur festen Halterung an einem Knochen unterhalb der Haut ausgebildet ist, ohne den Knochen vollständig zu durchdringen und ohne einen Knochenbruch hervorzurufen;
- c) wobei der erste Abschnitt genügend groß und aus einem Material ausgebildet ist, um den Nachweis durch ein Abbildungssystem zu gestatten, und genügend klein ist, um eine minimale Störung der Haut bereitzustellen, wenn er an der Grenzfläche zwischen der Haut und dem Knochen angebracht wird; und
- d) wobei der erste Abschnitt mit zumindest einem Abschnitt versehen ist, der kugelförmig ausgebildet ist und eine Oberfläche zum Zusammenwirken mit einem Werkzeug zur Befestigung des zweiten Abschnitts am Knochen ausbildet.

##### 2. Bezugsimplantat für den menschlichen Körper mit

- a) einem im wesentlichen kugelförmig ausgebildeten Abschnitt, der aus einem zum Nachweis durch ein Abbildungssystem geeigneten Material, wenn er unter der Haut angeordnet ist, besteht, wobei der erste Abschnitt ebenfalls eine Ausnehmung ausbildet, die mit polygonalen Innenseiten zum Eingriff durch ein Inbusschlüsselwerkzeug ausgebildet ist;
- b) wobei das Implantat einen zweiten Abschnitt aufweist einschließlich einer Schraube, deren Länge genügend groß ist, um das Implantat an dem Knochen festzulegen, die jedoch so ausgebildet ist, daß sie nicht den Knochen vollständig durchdringt und den Knochen nicht zerbricht, wenn sie an diesen festgelegt wird;
- c) wobei die Kugel genügend klein ist, um eine minimale Störung der Haut bereitzustellen, wenn die Kugel an einer Grenzfläche zwischen der Haut und dem Knochen angeordnet ist und die Schraube vollständig in den Knochen eingeschraubt ist; und
- d) die Schraube eine Länge zwischen 1 und 10 mm aufweist und die Kugel einen wirksamen Durchmesser zwischen etwa 1 und 10 mm.

##### 3. System dreier Bezugsimplantate, von denen jedes aufweist:

- a) einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt, wobei der zweite Abschnitt zum

Nachweis durch ein Abbildungssystem, wenn er unterhalb der Haut angeordnet ist, ausgebildet ist;

b) wobei der zweite Abschnitt zur festen Halterung an einem Knochen unterhalb der Haut ausgebildet ist, ohne vollständig den Knochen zu durchdringen und ohne den Knochen zu zerbrechen;

c) wobei der erste Abschnitt genügend groß ist und aus einem Material besteht, um durch ein Abbildungssystem nachgewiesen zu werden, und genügend klein ist, um eine minimale Störung der Haut hervorzurufen, wenn er an einer Grenzfläche zwischen der Haut und dem Knochen angeordnet ist; und

d) wobei der erste Abschnitt zumindest einen Abschnitt aufweist, der kugelförmig ausgebildet ist und eine Oberfläche zum Zusammenwirken mit einem Werkzeug zur Festlegung des zweiten Abschnitts an dem Knochen ausbildet.

##### 4. Verfahren zur Diagnose bestimmter innerer Abschnitte der menschlichen Anatomie, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Aufnahme einer ersten Reihe von Bildern in parallelen Querschnittsscheiben fester Dicke des zu diagnostizierenden Abschnitts der Anatomie;
- b) Anordnung der durch die Scheiben erzeugten Bilder in paralleler Ausrichtung zu einer Ebene, die durch Bezugsimplantate erzeugt wird, welche im Abschnitt der Anatomie angeordnet sind;
- c) Bewertung der durch die Abbildungen gezeigten Scheiben;
- d) Aufnahme einer zweiten Reihe von Bildern paralleler Querschnittsscheiben des zu diagnostizierenden Abschnitts der Anatomie;
- e) Anordnung der durch die zweite Reihe erzeugten Abbildungen in paralleler Ausrichtung zu der durch die Bezugsimplantate erzeugten Ebene; und
- f) Vergleich der durch die erste Reihe von Scheiben erzeugten Abbildungen mit den durch die zweite Reihe von Scheiben erzeugten Abbildungen durch Messen der Volumenunterschiede und zu diagnostischen Zwecken.

##### 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß weiterhin zumindest eines der Bezugsimplantate als Referenz zur Erzeugung einer zweiten Reihe von Abbildungen parallel zur ersten Reihe von Abbildungen verwendet wird, indem die Scheiben entsprechend der Beziehung der Scheiben zur Referenz indexiert werden.

##### 6. Verfahren zur Bereitstellung zueinander in bezug stehender Bilder im Verlauf der Zeit eines Abschnitts der Anatomie mit drei Bezugsimplantaten mit folgenden Schritten:

Aufnahme einer ersten Reihe von Querschnittsbildscheiben des Abschnitts der Anatomie zu einem ersten Zeitraum, wobei die ersten Bildscheiben durch zumindest eines der Bezugsimplantate aufgenommen werden, wobei sich die drei Bezugsimplantate in räumlicher Beziehung zueinander in einer gegebenen Lage befinden;

Aufnahme einer zweiten Reihe von Querschnittsbildscheiben des Abschnitts der Anatomie zu einem zweiten Zeitintervall;

Anordnung einer Bildscheibe der Anatomie, die aus der zweiten Reihe von im zweiten Zeitraum aufgenommenen Bildscheiben erzeugt wird, so daß sie im wesentlichen gleich demselben Querschnitt einer Bildscheibe der Anatomie ist, die im ersten Zeitraum aufgenommen wurde, zum Betrachten.

7. Verfahren zur Bereitstellung in Bezug stehender Bilder gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß

nach dem Schritt der Aufnahme einer ersten Reihe von Bildscheiben der Schritt der Festlegung eines internen Koordinatensystems in Bezug auf die drei Bezugsimplantate erfolgt, und die Lage der ersten Querschnitts-Bildscheibe relativ zum internen Koordinatensystem bestimmt wird; und

nach dem Schritt der Aufnahme einer zweiten Reihe von Bildscheiben die Schritte vorgesehen sind zum Umformatieren der Reihe der im zweiten Zeitraum aufgenommenen Bildscheiben, so daß diese den Lagen und Richtungen von Scheiben entsprechen, die in dem ersten Zeitraum aufgenommen wurden.

8. Verfahren zur Lokalisierung eines Tagets auf einem Abschnitt der Anatomie mit drei Bezugsimplantaten mit:

- a) Aufnahme einer ersten Reihe von Querschnittsbildscheiben eines Abschnitts der Anatomie;
- b) Festlegung eines internen Koordinatensystems in Bezug auf die drei Bezugsimplantate;
- c) Festlegung eines externen Koordinatensystems;
- d) Lokalisierung des Ziels in dem Abschnitt der Anatomie in Bezug auf das interne Koordinatensystem mit Festlegung des internen Koordinatensystems in Bezug auf ein vorher festgelegtes externes Koordinatensystem; und
- e) Lokalisierung des Ziels in Bezug auf das externe Koordinatensystem.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Festlegung des internen Koordinatensystems in Bezug auf das externe Koordinatensystem den Schritt der Bewegung eines Roboterarmes umfaßt, dessen Lage in dem externen Koordinatensystem bekannt ist, bis der Arm ein Bezugsimplantat berührt.

10. Verfahren zur Bereitstellung in Bezug stehender Abbildungen im Verlauf der Zeit eines Abschnitts der Anatomie mit drei Bezugsimplantaten mit folgenden Schritten:

- a) Aufnahme einer ersten Reihe von Querschnittsbildscheiben des Abschnitts der Anatomie während eines ersten Zeitraums;
- b) Anordnung eines Bilds einer gewünschten Erscheinungsform des Abschnitts der Anatomie in Bezug auf den ersten Zeitraum;
- c) Aufnahme einer zweiten Reihe von Querschnittsbildscheiben des Abschnitts der Anatomie während eines zweiten Zeitraums, wobei der zweite Zeitraum von dem ersten Zeitraum verschieden ist; und
- d) Anordnung eines Bilds einer gewünschten Erscheinungsform des Abschnitts der Anatomie, der von der zweiten Reihe von Querschnittsbildscheiben erzeugt wird, die zum zweiten Zeitraum genommen wurden, wobei die Erscheinungsform dieselbe ist wie die des Abschnitts der Anatomie, der im ersten Zeit-

raum aufgenommen wurde.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Schritt der Aufnahme eines ersten Satzes von Bildscheiben die Schritte der Lokalisierung der Bezugsimplantate aus der ersten Reihe von Querschnittsbildscheiben und der Einrichtung eines internen Koordinatensystems in Bezug auf den Ort der Bezugsimplantate vorgesehen sind.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Einrichtungsschritt der Schritt der Bestimmung der Translationsentfernung zwischen dem eingerichteten internen Koordinatensystem und der ausgewählten Scheibe vorgesehen ist.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Schritt der Aufnahme einer zweiten Reihe von Querschnittsbildscheiben der Schritt der Bestimmung der Eulerschen Winkel in Bezug auf das interne Koordinatensystem und die erste und zweite Reihe von Bildscheiben vorgesehen ist, sowie die Bestimmung der Koordinaten einer gewünschten Erscheinungsform des Abschnitts der Anatomie von der zweiten Reihe von Bildscheiben entsprechend dem dargestellten Bild der gewünschten Erscheinungsform des Abschnitts der Anatomie in Bezug auf die erste Reihe der Bildscheiben.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Schritt der Bestimmung der Koordinaten einer gewünschten Erscheinungsform des Abschnitts der Anatomie aus der zweiten Reihe von Bildscheiben der Schritt der Interpolation der Intensität der gewünschten Erscheinungsform des Abschnitts der Anatomie aus der zweiten Reihe von Bildscheiben vorgesehen ist.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Lokalisierung der Bezugsimplantate den Schritt der Bestimmung des Schwerpunktes jedes Bezugsimplantats umfaßt.

16. Vorrichtung zur Erzeugung von Bildscheiben der Anatomie eines menschlichen Patienten, gekennzeichnet durch:

- a) ein Abbildungsgerät zur Erzeugung scheibenförmiger Bilder eines gewünschten Querschnitts der Anatomie;
- b) eine Darstellungseinrichtung zur Darstellung der durch die Abtasteinrichtung erzeugten Bilder;
- c) einen programmierbaren Datenverarbeitungscomputer;
- d) eine Einrichtung zur Festlegung eines bezüglich der Zeit festen Koordinatensystems in Bezug auf die menschliche Anatomie, wobei die Einrichtung durch die Abbildungseinrichtung identifizierbar und vom äußeren der Anatomie her verborgen, jedoch durch das Abbildungsgerät nachweisbar ist;
- e) wobei der Computer zum Erhalt von Bildscheiben durch das Abbildungsgerät während einer ersten Abtastung programmiert ist; und
- f) das Abbildungsgerät und der Computer zusammenwirken, um scheibenförmige Bilder in einer zweiten Abtastung zu erzeugen, die im wesentlichen gleich den Scheibenbildern der ersten Abtastung sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Festlegung

eines Koordinatensystems drei implantierbare Bezugsschaltantate umfaßt.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Abbildungsgerät und der Computer zusammenwirken, um Bildscheiben herzustellen und die Bildscheiben relativ zu dem durch die Bezugsschaltantate definierten Koordinatensystem umzuformatieren, damit sie den während einer ersten Abtastung erhaltenen Bildscheiben entsprechen, wobei die umformatierten Bildscheiben durch die Darstellungseinrichtung dargestellt werden.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zum Umformatieren der Bildscheiben eine Rotation und eine Translation der Bildscheiben umfaßt.

20. Vorrichtung zur Behandlung eines Zielobjekts auf einem Abschnitt der Anatomie mit drei Bezugsschaltantaten, mit:

- a) einer Abbildungseinrichtung zur Erzeugung scheibenförmiger Bilder eines gewünschten Querschnitts der Anatomie;
- b) einer Darstellungsvorrichtung zur Darstellung der durch die Abbildungseinrichtung erzeugten Bilder;
- c) einem programmierbaren Datenverarbeitungscomputer;
- d) einer Einrichtung zur Festlegung eines internen Koordinatensystems in bezug auf die menschliche Anatomie und identifizierbar durch das Abbildungsgerät, wobei die Einrichtung vom äußeren der Anatomie her verborgen, jedoch durch die Abbildungsgeräte detektierbar ist;
- e) wobei der Computer zum Erhalt von Bildern durch das Abbildungsgerät während einer ersten Abtastung programmiert ist;
- f) wobei das Abbildungsgerät und der Computer zusammenarbeiten, um scheibenförmige Bilder zu erzeugen, die im wesentlichen gleich den Bildern der ersten Abtastung sind;
- g) einer Einrichtung zur Festlegung eines internen Koordinatensystems in bezug auf ein externes Koordinatensystem; und
- h) einer Einrichtung zur Lokalisierung des Zielobjekts durch Inbezugsetzung des internen Koordinatensystems zu dem externen Koordinatensystem.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Lokalisierung des Zielobjekts die Festlegung eines internen Koordinatensystems in bezug auf das externe Koordinatensystem umfaßt sowie weiterhin einen Roboterarm, der Positionen aufweist, die in bezug auf ein externes Koordinatensystem bekannt sind, und daß der Computer zur Festlegung der Beziehung zwischen dem internen Koordinatensystem und dem bekannten externen Koordinatensystem programmiert ist.

- Leerseite -

---

3838011

Nummer:

Int. Cl.4:

Anmeldetag:

Offenlegungstag:

38 38 011

A 61 B 19/00

9. November 1988

20. Juli 1989

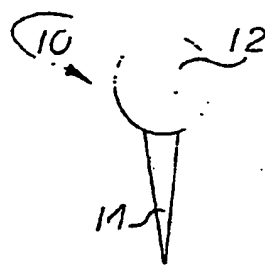


FIG. 1a

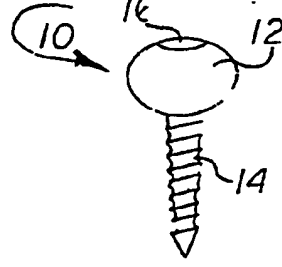


FIG. 1b



FIG. 1c

48

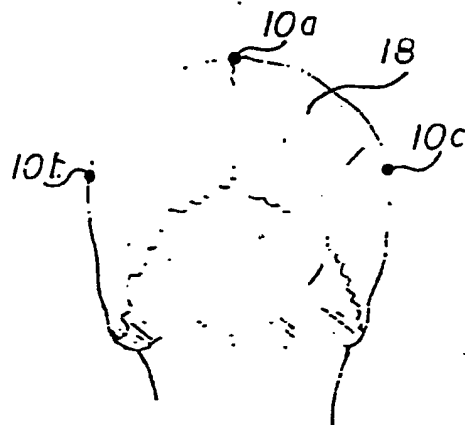


FIG. 2a

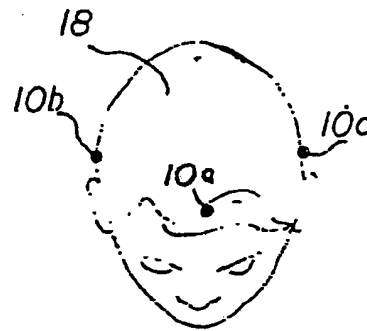


FIG. 2b

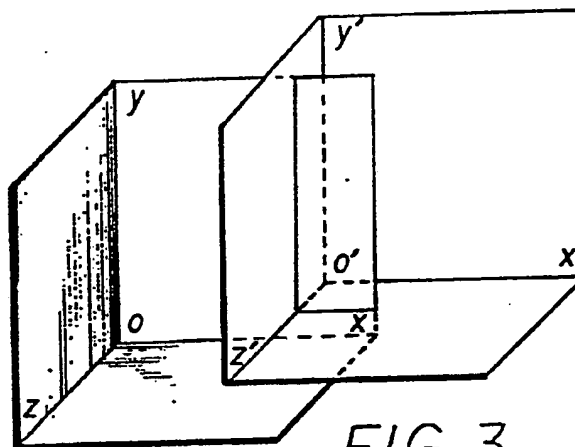


FIG. 3



3838011

49

FIG. 4

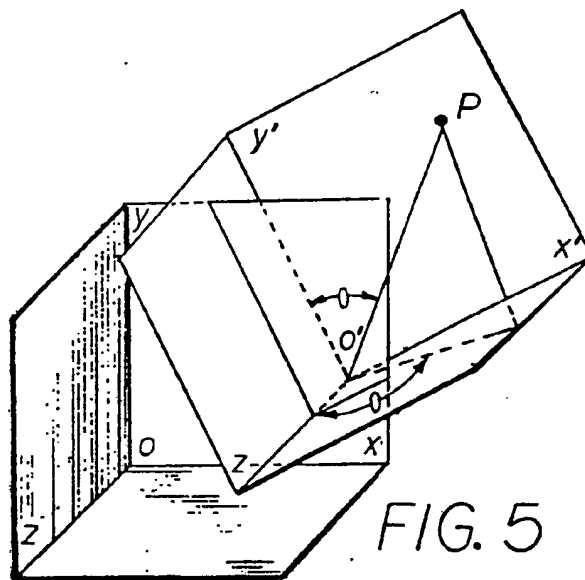
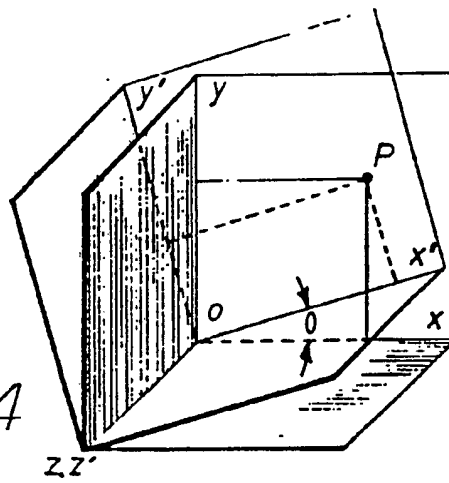


FIG. 5

3838011

50

FIG 5 A

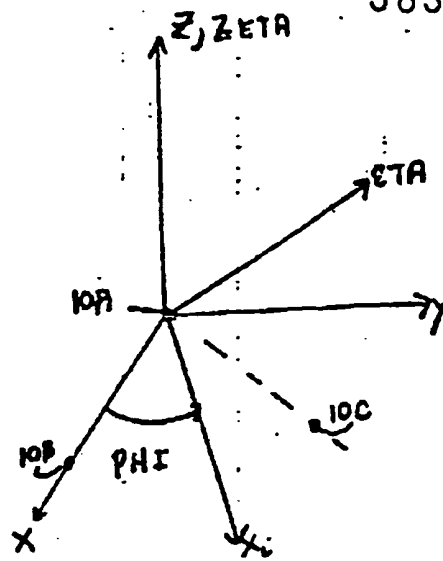


FIG 5 B

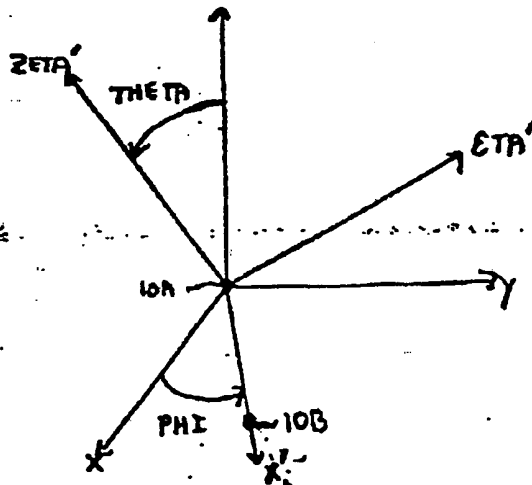
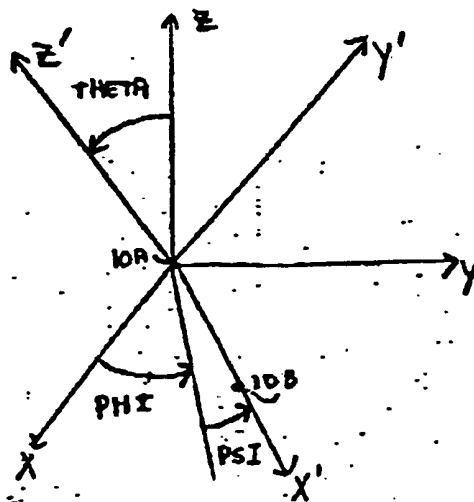


FIG 5 C



3838011

51

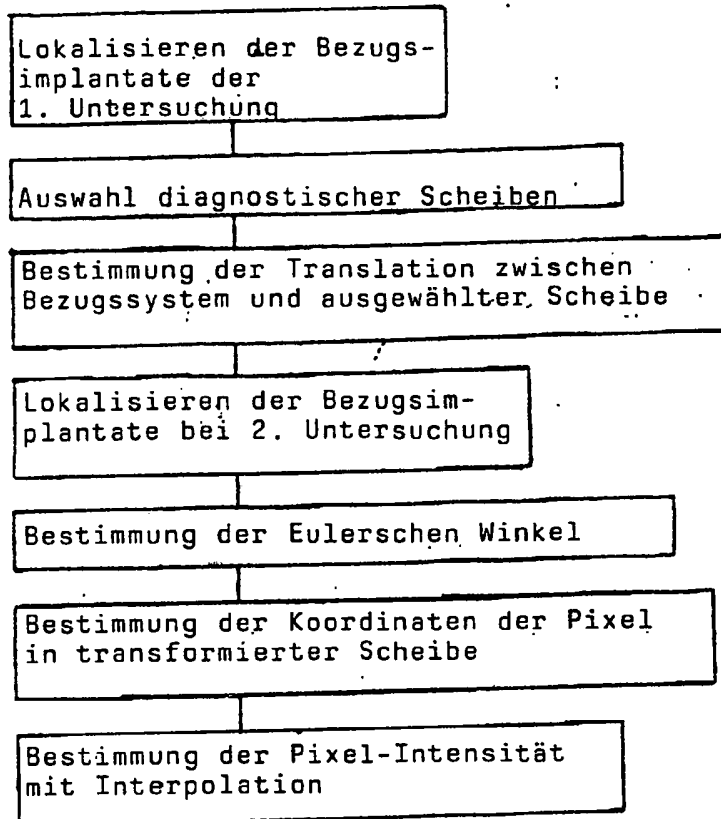


FIG. 6

3838011

52

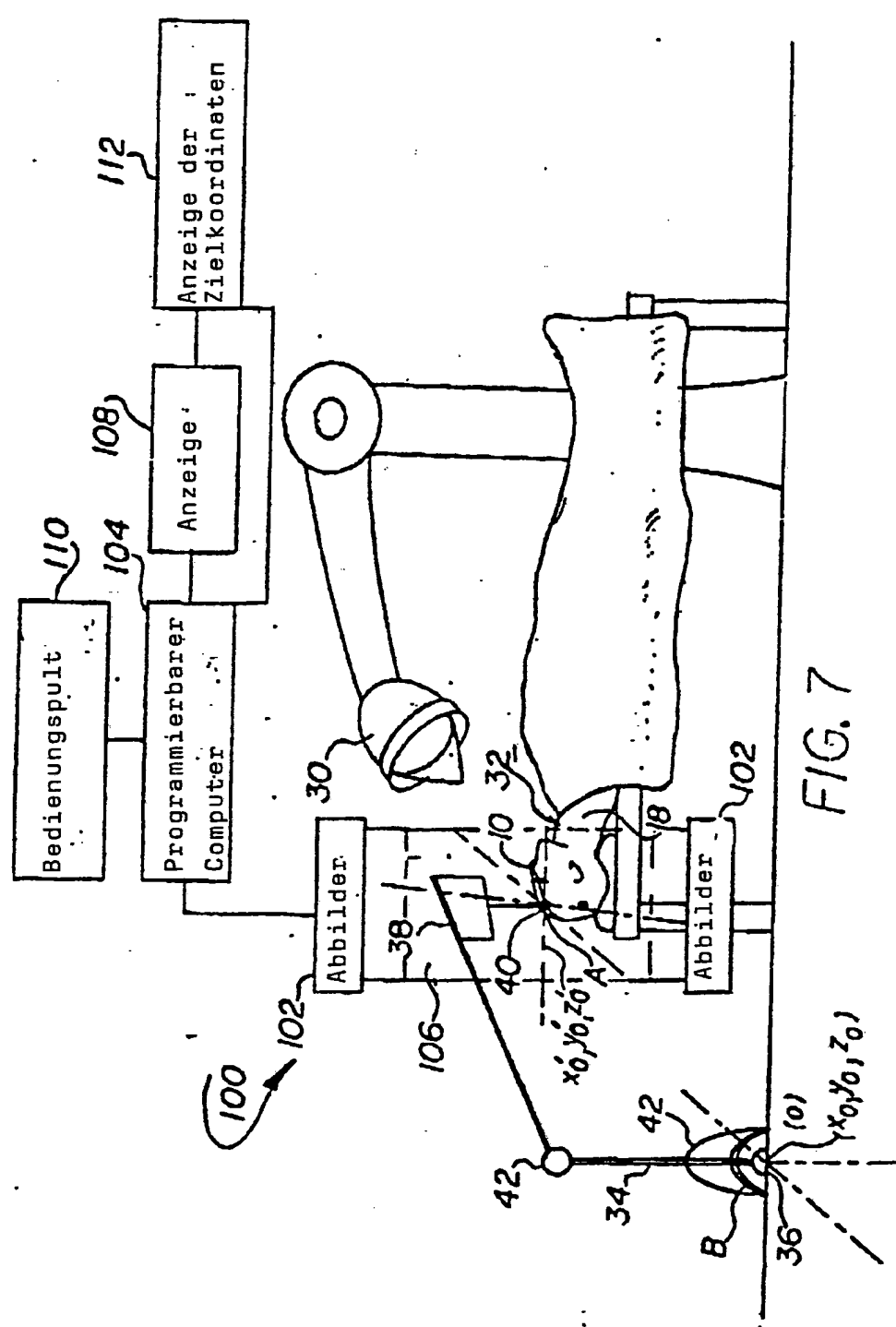


FIG. 7

3838011 53\*

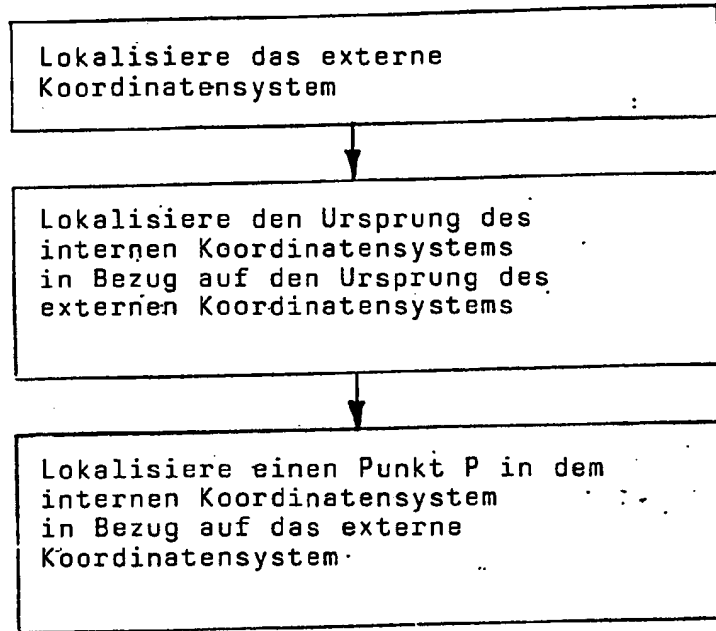


FIG 8.